心理学报 2022, Vol. 54, No. 11, 1391−1402
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.01391

责任共担促进新手的互动决策获益：超扫描研究*

成晓君 [1] 刘美焕 [1] 潘亚峰 [2]
([1] 深圳大学心理学院，深圳 518060) ([2] 浙江大学心理与行为科学系，杭州 310028)

摘 要 采用基于近红外脑成像的超扫描技术，考察了责任共担(即共同承担决策结果)对个体(专家和新手)的互动决策获益(即互动决策后个体的能力提升)的影响及脑机制。结果显示，相比于非责任共担，责任共担条件下新手的互动决策获益更高，其与互动同伴在额极区域存在增强的脑间活动同步性；并且，额极的脑间活动同步性可预测新手的互动决策获益。综上，责任共担可以有效促进新手的互动决策获益，额极脑间活动同步性可能是潜在的脑机制。
关键词 互动获益，责任共担，社会决策，超扫描，近红外脑成像
分类号 B849: C91; B845

1 引言

互动(Interaction)是人类生活不可或缺的组成部分，指的是发生在个体间同时或序列的、可影响他人即刻或未来结果的系列行为(Johnson & Johnson, 2005)。个体间的互动可增强团体联结和群体决策效率。例如，在人际交往中，交流和模仿同伴的行为，对同伴的言语和行为进行回应，可以拉近团体中个体间的关系，增强团体凝聚力(Lu et al., 2019; Nozawa et al., 2019)。在鼓励互动交流的氛围中，团体的知觉决策能力(Bahrami et al., 2010)、创造力(Lu et al., 2019)均有所提升。最近研究表明，个体也可以在与他人的互动中获益(即个体的"互动获益", Interaction Benefit)，体现为与他人的互动过程中，个体自身的能力水平(相比于互动前)获得了提升(Lorenz et al., 2011; Sella et al., 2018)。社会决策是研究互动获益的一个经典范式(Minson et al., 2011; Sella et al., 2018)。例如，在一个社会决策任务中，当两个个体在分别做出了自己的决策后有机会分享意见并达成决策共识时，个体自身的决策准确度会提升(Sella et al., 2018)。尽管这一现象逐渐受到研究者的关注，但个体互动获益现象背后的认知和脑基础，仍有待进一步探究。

在与他人进行互动时，个体将和他人进行行动信息的交换，这通常伴随着生理或心理的更多投入，并促进任务的完成(Astin, 1999)。例如，个体与教师的互动次数的增加可以提升个体的学习绩效(Pan et al., 2018)。值得注意的是，在这些互动任务(尤其是团体决策)中，团队各成员通常是默认的合作关系，互动的结果与各成员的绩效紧密相关(Mahmoodi et al., 2015; Minson et al., 2011; 余柳涛等, 2016)。因此，个体的互动获益很有可能并非单纯来源于互动这一过程本身，而是团队各成员在绩效产出时共享了责任，即责任共担(Shared Responsibility)。责任共担是指在群体决策中，决策结果直接影响群体收益和损失，当前决策结果由群体成员共同承担(Yaniv & Kleinberger, 2000; Zein et al., 2019)。责任共担条件下，个人的贡献是模糊的、不被强调的，因此个体将倾向于避免承担决策后果(尤其是失败的后果) (Mahmoodi et al., 2015; Zein et al., 2019)。为了分担潜在错误的责任，个体的决策更有可能在自己的意见和同伴的建议之间交替进行，即使用平均策略(Averaging Strategy)。平均策略的使用，使得个体充分参考和听取他人的意见，从而提升自己的能力水平。在非责任共担条件下，个人的责任非常明确，因此个体更倾向于坚持己见，

收稿日期: 2021-07-20
* 深圳市高等院校稳定支持计划项目(20200810193259002)资助。
通信作者：潘亚峰, E-mail: yafeng.pan@zju.edu.cn

整合他人意见的程度较低(Soll & Mannes, 2011)。鉴于此，相比于非责任共担，责任共担条件下，个体将更多地使用平均策略，并获得更大的互动获益。

互动对个体的益处，可能因个体自身的能力水平而异。Mastroeni 等人(2017)的研究发现，当团体内既有专家也有新手时，互动可能会导致团体内的成员的能力越来越同质，即专家的能力降低，同时，新手的能力却会得到提升(Mastroeni et al., 2017)。这一发现在 Sella 等人(2018)的研究中得到了验证，在一个数值位置估计的互动决策任务中，经过互动后，专家的个人估计能力略有下降，而新手的个人估计能力得到了显著的提升。这种互动获益在不同能力水平个体上的不同表现，或可被互动决策过程中的平均策略所解释。当团体成员采用平均策略时，个体将参考他人的意见，因此新手可从专家处获益，而专家则不能从新手处获益(Mastroeni et al., 2017; Sella et al., 2018)。从这一角度出发，相比于专家，新手将获得更大的互动获益。同时，由于责任共担条件下平均策略的使用更为突出，我们认为新手将在责任共担条件下获得更大的互动获益。鉴于互动可能会导致团体成员的能力趋于同质，因此团体成员的初始能力水平(即专家−新手各自的基础能力)差异越大，新手的进步空间越大，即互动获益越大。

神经生理层面，借助新近发展的超扫描(Hyperscanning)技术，研究者们得以同时观察互动过程中多个个体的大脑活动(Montague et al., 2002; 李先春 等, 2018)。研究表明，互动个体间的脑活动存在同步性，即脑间同步(Interpersonal Brain Synchronization, IBS) (Balardin et al., 2017; Cui et al., 2012; Jahng et al., 2017; Li et al., 2018)。迄今为止，脑间同步在团体合作(Hu et al., 2018; Yang et al., 2020)、教学互动(Pan et al., 2018; Sun et al., 2020)、亲子互动(Miller et al., 2019; Nguyen et al., 2020)等不同的互动任务中均有所发现。互动过程中的脑间同步强度不仅可反映互动当下的团队绩效，例如合作表现(Cui et al., 2012; Sun et al., 2020; Xue et al., 2018)或信息理解(Fishburn et al., 2018; Liu et al., 2019)，还与互动过程中的单个个体的认知或行为有关，例如情绪调节水平(Reindl et al., 2018)、亲社会助人行为(Balconi & Fronda, 2020; Hu et al., 2017)与决策行为(Tang et al., 2016; Zhang et al., 2017)等。特别地，互动的脑间同步可以预测个体在互动过程中的知识累积程度，例如师生教学活动时的脑间同步水平可以预测学生的课堂参与度(Bevilacqua et al., 2019)、学习成绩(Pan et al., 2018, 2020; Zhu et al., 2021)和迁移效果(Zhu et al., 2021)。基于上述研究，我们认为社会决策过程中的脑间同步或与个体的互动获益紧密相关。在已有的研究中，脑间同步通常发生在前额叶(Prefrontal cortex, PFC)和右侧颞顶联合区域(right Temporal-Parietal cortex, rTPJ)。PFC 通常与较为高级的心理活动有关，例如计划、决策等(Fehr & Camerer, 2007; Sun et al., 2016; van Overwalle, 2009); 而 rTPJ 则与推测他人意图有关(Tang et al., 2016; van Overwalle, 2009; Zhang et al., 2017)。

综上，本研究将利用基于近红外成像的超扫描技术探究责任共担对专家和新手互动获益的影响。在实验中，两名被试将共同完成一个社会决策任务(Sella et al., 2018; Siegler & Opfer, 2003)，先各自通过移动数轴上的光标来估计数字所在位置(独立决策阶段)，而后对这一位置进行共同调整并最终达成共识(互动决策阶段)。任务将设置两个条件，在责任共担条件下，互动决策阶段的结果(即奖励或惩罚)将由两人共同承担；在非责任共担条件下，互动决策阶段的结果仅由其中一人承担，对另一人无影响。互动过程中，近红外脑功能成像仪(Functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS)将同时记录两名被试的前额叶和右侧颞顶联合区域。这两个区域在社会互动和决策活动中起着重要的作用。其中，rTPJ 主要参与了对他人的目标和信念的心理推断，PFC 参与了自我与他人信息的整合，因此，这两个系统可以通过对他人的意图进行正确编码，从而理解他人的意图(Amodio & Frith, 2006)。同时，PFC 通常与较为高级的心理活动有关，例如计划、决策和认知控制等(Fehr & Camerer, 2007; Sun et al., 2016; van Overwalle, 2009)，可能参与了依据个体的动机和对奖励的期待调节个体自身的行为表现的过程。在以往的基于 fNIRS 的超扫描研究中，个体间的 PFC 和 rTPJ 的脑间同步已被广泛发现与社会互动行为表现相关(Cui et al., 2012; Lu & Hao, 2019; Nozawa et al., 2019; Tang et al., 2016)。本文假设：1)相比于专家，新手的互动获益更高；2)相比于非责任共担条件，责任共担条件可诱发个体更强的互动获益；3)相比于非责任共担条件，责任共担条件可诱发更强的脑间同步；4)个体的互动获益以及互动决策时的脑间同步或可受到被试对(Dyad，即专家−新手配对)的初始能力差异

的调节。

2 方法

2.1 被试

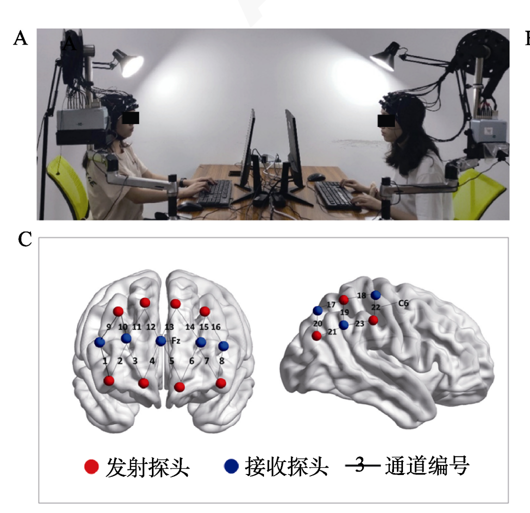
共招募在校大学生 70 名(年龄：18~25 岁, M = 20.3 岁, SD = 2.0)，其中男性 32 人，女性 38 人，共形成 35 对相同性别的被试对(Dyad)，同一被试对内两名被试互不相识。在实验开始时，两名被试将各自独立完成一个数值位置估计任务(即独立决策任务，本研究中的基线任务)，以检测其初始能力水平。在基线任务中表现较好的一名被试被确定为“专家” (n = 35)，另一名被试则被确定为“新手” (n = 35) (Sella et al., 2018; Sella et al., 2016; Siegler & Opfer, 2003)。其中两对被试因频繁头动影响数据采集，数据未纳入后续分析。所有被试均为右利手，视力或者矫正视力正常，色觉正常，无精神病史或者脑部疾病史。所有被试在进行实验前均签署了书面的知情同意书，实验结束后根据表现获得 40~70 元不等的报酬。这项研究得到了深圳大学研究伦理委员会的批准。

2.2 实验任务和流程

两名被试(被随机编号为 1 号被试和 2 号被试)在到达实验室后，面对电脑显示器而坐(如图 1A)。实验开始前，被试被告知各任务流程和规则，并被强调在整个实验过程中不得与实验同伴进行任何言语或非言语的沟通。在被试确认理解实验流程后，实验正式开始。正式实验中，被试将首先平静休息 3 分钟，在此阶段被试需保持身体放松且头部尽可能不动。而后被试需要进行基线任务和社会决策任务。实验任务将使用基于 Matlab (版本 2018a)的 Psychtoolbox 3.0 进行编制并呈现，显示器尺寸为 17 吋，空间分辨率为 1920×1080 像素。

本研究的基线任务和社会决策任务均改编自 Siegler 和 Opfer (2003)的数值位置估计范式。在基线任务中，被试在需要在一条水平数轴上通过移动光标来估计给定的目标数字的位置。这条数轴的两端为端点数字−1000 和+1000，即此数轴的长度为 2000 (实际长度像素为 1000, 1 个像素等同于 2 个数字单位)。目标数字位于端点的正上方。每一个试次(trial)开始时，屏幕上将会出现数轴，其随机位置上会出现一个光标。光标的颜色因被试而异。在本实验中，1 号被试的代表色为蓝色，2 号被试的代表色为橙色。个体可通过按动键盘的指定按键使光标进行左右移动，每次按键将对应于光标的 1 个像素(两个数字单位)。当被试认为已移动到位时,可按指定键进行确认。两名被试需要各自进行 24 个试次的数值位置估计。被试的估计成绩将作为其初始能力水平，其中能力水平相对高的被试被确认为专家，另一名被试则被确认为新手。

在社会决策任务中，两名被试需要通过互动来共同估计给定的目标数字的位置(图 1B)。在每一试次中，两名被试先各自进行完数值的位置估计(独立决策阶段)，而后屏幕上会同时显示两名被试的估计位置(以被试对应的颜色标识)，同时，代表互动决策结果的灰色光标将在数轴的随机位置显现，两名被试可以轮流移动该光标来表示其认为此数值应处的位置(互动决策阶段)。本实验不预设移动的回合数。当其中一名被试完成移动，而另一名被试表示无异议时，即可按确认键结束互动决策阶段，并进入下一个试次。此任务包含两个实验条件，分



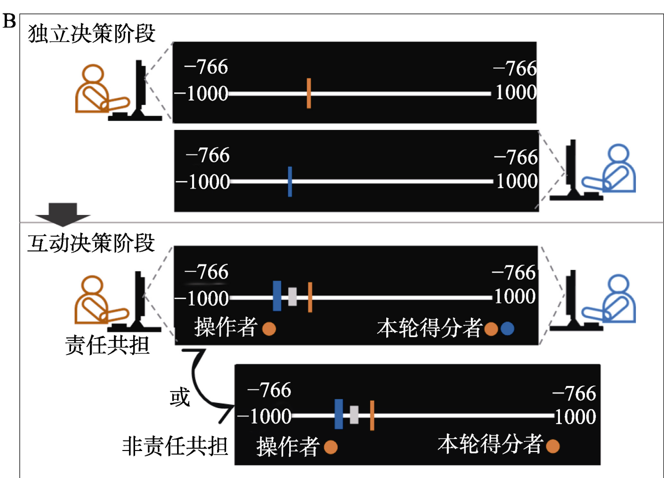


图 1　实验设置图。(A)实验场景示意图。(B)社会决策任务中独立决策阶段和互动决策阶段的设置。(C)光极的位置。

别为责任共担条件和非责任共担条件。责任共担条件共 24 个试次，互动决策的结果将共同影响两人的绩效。非责任共担条件共 24 个试次，每一试次的互动决策结果仅会影响其中一名被试(程序随机指定)的绩效，与另一名被试的绩效无关，即专家责任(影响专家而非新手)和新手责任(影响新手而非专家)的试次各 12 个，两类试次的出现顺序随机，当前试次的互动决策结果影响信息将在实验屏幕的下方实时呈现。责任共担和非责任共担条件的顺序在所有被试对中进行平衡。

整个实验中，目标数字并不重复出现，每个条件的 24 个目标数字在数轴上呈均匀分布(正数和负数各半)。为了防止疲劳效应，被试每完成 12 个试次，可休息 30 秒。各任务条件间有 10 秒间隔。在正式实验开始前，被试需进行两个试次的练习以确保其理解流程。

2.3 近红外光学脑成像数据采集

本研究使用两套相同的近红外光学脑成像系统(NirScan-2442，丹阳慧创，中国)来记录两名被试在进行任务过程中的血氧活动变化信号，为确保近红外通道位置在不同条件间的一致性，两套设备随机分配给专家或新手但并未在条件间(责任共担和非责任共担)进行调换。该系统可以检测氧合血红蛋白(Oxy-Hb)、脱氧血红蛋白(Deoxy-Hb)和总血红蛋白(Toxy-Hb)的相对浓度变化。本研究通过基于近红外成像的超扫描技术同时测量被试的前额叶(通道 1~16)和右侧颞顶联合区(通道 17~23)两个区域的血红蛋白的浓度变化。光极排布参照国际 10-20 系统，前额叶的光极排布以 FPz 作为参考点，右侧颞顶联合区域以 CP6 和 P6 作为参考点(图 1C)。在本次光极和通道的设置中，光源发射探头和接收探头间的距离约为 3 cm，采样率为 10 Hz。

2.4 数据分析

2.4.1 行为学数据分析

在数值位置估计范式下，估计成绩体现为估计位置与目标数字的标准位置的偏差值(偏差值 = |估计位置 – 标准位置|)。偏差值越小，则估计成绩越好。在此基础上，本研究主要关注的行为学表现主要有如下方面。首先是个体的互动获益，其指标为社会决策任务中个体独立决策阶段的成绩相比于基线任务的进步值(进步值 = 基线条件的估计偏差 – 社会决策任务中个体独立的估计偏差)。本研究将首先分别计算专家和新手在责任共担和非责任共担条件下的进步值，采用单样本 *t* 检验分别考察专家和新手在这两种条件下的进步值是否显著；而后采用重复测量方差分析的方法考察责任共担与否(责任共担 vs. 非责任共担)与组别(专家 vs. 新手)对个体进步值的影响。同时，将通过皮尔逊相关法，考察个体进步值是否与团体初始能力差异存在关联。其次，本研究考察个体在互动决策过程中是否采用了平均策略。平均策略在本任务范式下与个体在互动决策阶段的退让值(即互动决策估计位置与个体的独立估计位置的偏差值)有关。若退让值小，则认为个体在互动过程中较为坚持自己原本的决策；若退让值大，则认为个体在互动过程中较为妥协。当两人的退让值不存在差异时，可以认为两人采取了平均策略。因此，本研究将采用配对样本 *t* 检验，分别考察在责任共担和非责任共担条件下，同一被试对中的新手和专家的退让值是否存在差异，以此检验责任共担条件下是否产生了平均策略。

2.4.2 近红外脑成像数据分析

采用修正的 Beer-Lambert 定律将各通道的原始的光强数据变化转化为血红蛋白浓度的变化(Arridge et al., 1992; Delpy et al., 1988; Hiraoka et al., 1993)。已有研究表明，相比于脱氧血红蛋白信号，氧合血红蛋白信号对脑组织的血流量变化更加敏感(Hoshi, 2003)，因此本研究主要对其中的氧合血红蛋白浓度信号进行分析。在预处理过程中，为消除噪音和排除生理因素等不可控干扰因素(排除脑同步反映噪声同步的可能性)，将血氧信号进行了 0.02~0.5 Hz 的带通滤波(Piazza et al., 2020)。同时，采用基于血氧相关的信号提升技术(Correlation-based Signal Improvement)对氧合血红蛋白浓度数据进行矫正，以降低头动等带来的伪迹(Cui et al., 2010)。

在进行了预处理后，针对各通道，采用了小波变换相干性(Wavelet Transform Coherence，WTC)(Torrence & Compo，1998)的方法来计算互动个体的脑间同步。经过 WTC 的方法，可获得两个信号的时间−频率相干图谱，频率范围为 0.0024~5 Hz。我们的感兴趣频段为 0.01~0.1 Hz (Jiang et al., 2012)，这一频段涵盖了大部分认知活动相关的神经生理信号，同时排除了由呼吸(约 0.2~0.3 Hz)或心血管活动(约 1 Hz)等引发的高频或低频噪声；在该频段能够有效观察到互动决策时相比于基线条件显著增强的脑间同步(我们对其他频段，如 0.0024~0.01 Hz、0.1~0.33 Hz、0.33~5 Hz，也进行了检验，但未发现显著的条件间差异)。分别计算了

此感兴趣频段下各个通道的基线任务、社会决策(责任共担与非责任共担)任务中互动决策阶段的脑间同步,而后将后者减去前者,获得(相比于基线任务)互动决策相关的脑间同步。在下文中,责任共担条件与非责任共担条件的脑间同步均指的是已减去基线任务后的脑间同步。获得每一被试对各个通道的互动决策脑间同步后,首先采用单样本 t 检验,考察互动决策过程是否有通道呈现出显著增强的脑间同步。检验结果将通过多重比较校正(本研究采用 False-Discovery-Rate, FDR 控制,阈值为 $p < 0.05$) (Benjamini & Hochberg, 1995)。所有呈现出显著脑间同步的通道,都将成为本研究的感兴趣通道。针对这些通道,本研究将进一步进行配对样本 t 检验来比较责任共担和非责任共担条件是否存在差异,并运用皮尔逊相关分析,考察脑间同步是否与个体进步值、被试对的初始能力差异存在关联。最后,运用格兰杰因果分析(Granger Causality analyses, GCA)来衡量两名被试的脑活动信号的方向性,来更好地理解互动决策过程中个体间的关系。具体地,采用基于 Matlab 的多变量格兰杰因果工具包(Multivariate Granger Causality Toolbox, MVGC)获得责任共担条件(全部试次)和非责任共担条件(全部试次)两名被试的整体的脑活动信号两个方向(专家→新手和新手→专家)的因果值(Barnett & Seth, 2014),而后采用方差分析考察责任共担与否和方向性对格兰杰因果值的影响。同时,考虑到非责任共担中涉及两类不同的责任类型(专家责任和新手责任),本研究将进一步考察格兰杰因果值受责任类型(专家责任、新手责任)和方向性的影响。需要说明的是,由于在非责任共担中专家责任和新手责任这两类试次为随机穿插出现,而血氧信号对时间的敏感精度有限,为了获得较为稳定的数据结果,本研究将分别选取每对被试在专家责任和新手责任中各自最大的两个试次团(trial-cluster,即连续出现的同类型试次组合)的信号进行分析。

3　结果

3.1　专家−新手分组检验

以基线任务中的估计成绩作为区分专家和新手的依据。在一个被试对中,估计的绝对偏差(误差)小的被选定为专家,另一名则为新手。结果表明,专家组与新手组的初始能力存在显著差异, $t(64) = 5.48$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.35$, 95% CI = [17.80, 38.32],体现为专家组的估计偏差($M = 37.85$, $SD = 9.89$)显著低于新手组的估计偏差($M = 65.85$, $SD = 27.62$; 图 2A)。这一结果表明本研究对专家和新手的分组有效。

3.2　个体的互动获益:进步值

首先,使用单样本 t 检验考察专家和新手个体在责任共担和非责任共担下的进步值是否显著。结果表明,新手在两个条件下均呈现了显著的进步(责任共担: $t(32) = 5.80$, $p < 0.001$, Cohen's $d = 1.01$, 95% CI = [16.34, 34.02]; 非责任共担: $t(32) = 2.86$, $p = 0.007$, Cohen's $d = 0.50$, 95% CI = [4.11, 24.36]; 图 2B)。专家则在这两个条件下均未表现出进步(责任共担: $t(32) = -1.09$, $p = 0.283$, 95% CI = [−10.77, 3.31]; 非责任共担: $t(32) = -1.47$, $p = 0.152$, 95% CI = [−11.80, 1.92]; 图 2B)。进一步地,采用重复测量方差分析来探索个体的进步值是否受组别和责任共担与否的影响。结果表明,组别的主效应显著, $F(1, 64) = 24.28$, $p < 0.001$, partial $\eta^2 = 0.28$, 95% CI = [14.33, 33.87],体现为新手的进步值高于专家的进步值。同时,责任共担与否的主效应呈边缘显著, $F(1, 64) = 3.76$, $p = 0.057$, partial $\eta^2 = 0.06$, 95% CI = [−0.19, 12.24],责任共担情境下存在更强的进步趋势。组别与责任共担与否的交互效应不显著, $F(1, 64) = 2.50$, $p = 0.119$, partial $\eta^2 = 0.04$。由于责任共担与否的效应在不同个体中的作用表现是本研究关注的重点之一,按计划尝试考察了责任共担与否对专家和新手进步值的影响。结果显示,新手在责任共担条件的进步值显著地大于非责任共担条件($t(32) = 2.64$, $p = 0.013$, Cohen's $d = 0.46$, 95% CI = [2.50, 19.39]; 图 2B),而专家则无此差异($p > 0.05$)。最后,利用相关分析考察个体的进步值与被试对的初始能力差异的关系(此过程中,责任共担条件下有两名专家被试和一名新手被试的数据因超过 3 个标准差而被排除,非责任共担下有两对被试数据因超过 3 个标准差而被排除)。相关分析的结果显示,新手进步值与被试对的初始能力差异程度呈显著正相关(责任共担条件: $r = 0.68$, $p < 0.001$; 非责任共担条件: $r = 0.56$, $p < 0.001$),即当被试对的初始能力差异越大时,新手的进步越大;而专家进步值与被试对的初始能力差异程度相关不显著(责任共担条件: $r = -0.20$, $p = 0.29$; 非责任共担条件: $r = 0.16$, $p = 0.38$)。

为了探讨两人互动的次数是否影响个体的进步值,把每个条件的 24 个试次按时间进程切分为

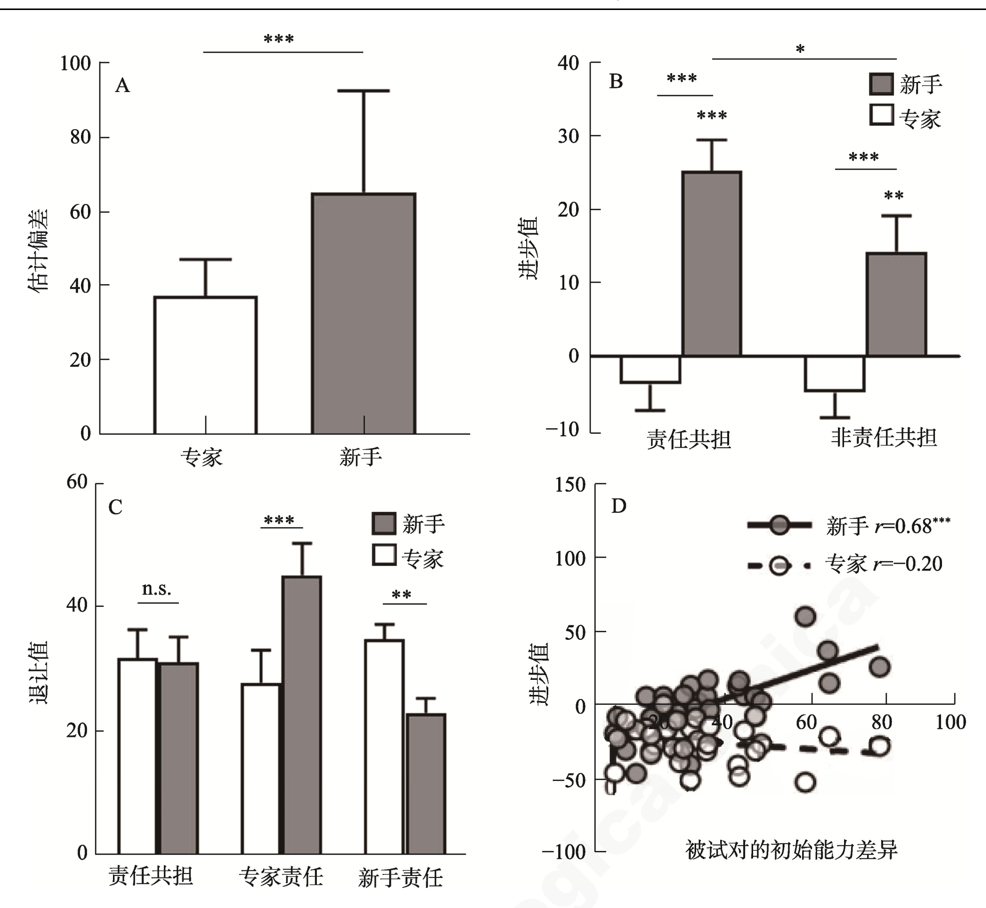


图 2 行为学结果。(A)专家和新手在基线任务时的行为表现。专家的估计偏差小于新手的估计偏差。(B)个体的互动获益。新手在责任共担条件下和非责任共担条件下均存在明显进步，且责任共担条件下的进步更为明显；而专家在两个条件下均未表现出进步，且进步值显著低于新手。(C)责任共担条件下专家和新手的退让值无显著差异。(D)责任共担条件下个体的进步值与被试对的初始能力差异的关联。新手的进步值与被试对的初始能力差异程度呈正相关。注：*表示 $p < 0.05$, ** 表示 $p < 0.01$, *** 表示 $p < 0.001$, n.s. 表示 $p > 0.05$。误差线为标准误。

前后两半(前 12 个试次为 block1，后 12 个试次为 block2)，而后把进步值作为因变量，把 block (block1、block2)、组别(专家、新手)和责任共担与否(责任共担、非责任共担)作为自变量进行方差分析。结果表明, block 的主效应边缘显著, $F(1, 64) = 3.77$, $p = 0.057$, partial $\eta^2 = 0.06$，体现为 block1 的进步值高于 block2，即个体在互动早期可获得更大的进步; block 和组别、责任共担与否的交互作用均不显著($ps > 0.05$)。

考虑到本研究中专家和新手的划分是相对的，即被试对中能力较好的一人为专家，另一人为新手，但可能新手组中也有能力较好者，而专家组亦存在能力较差者，因此本研究进行了补充分析，探索了个体的绝对能力水平是否也可能影响互动获益。将所有被试按照其初始能力水平进行了排序并将前50%的被试视为专家，后 50%的被试视为新手。对此分组标准下的个体进步值进行统计分析，结果发现，新手在两个条件下均呈现了显著的进步(责任共担：$t(32) = 6.62$, $p < 0.001$, Cohen’s $d = 1.15$, 95% CI = [18.72, 35.34]；非责任共担：$t(32) = 3.39$, $p = 0.002$, Cohen’s $d = 0.59$, 95% CI = [6.37, 25.54]，且其在责任共担条件下的进步显著地大于非责任共担条件下, $t(32) = 2.91$, $p = 0.007$, Cohen’s $d = 0.51$, 95% CI = [3.80, 18.82]。专家则在这两个条件下均未表现出进步(责任共担：$t(32) = −2.72$, $p = 0.096$, 95% CI = [−12.41, 1.06]；非责任共担：$t(32) = −1.95$, $p = 0.060$, 95% CI = [−3.62, 0.29])。这表明，从绝对能力水平的角度看，新手亦更有可能获得进步，与上述结果一致。

3.3 个体的退让值

对责任共担、非责任共担条件下的专家和新手的退让值进行配对样本 t 检验。结果发现，在责任共担条件下，专家和新手的退让值并不存在显著差异(图 2C), $t(32) = 0.26$, $p = 0.799$。在非责任共担条件下，当责任人为专家时，新手的退让值显著高于专家的退让值(图 2C)，$t(32) = 5.90$, $p < 0.001$,

Cohen's d = 1.03, 95% CI = [11.47, 23.58]; 当责任人为新手时，专家的退让值显著高于新手的退让值(图 2C), t (32) = 3.39, p = 0.002, Cohen's d = 0.59, 95% CI = [4.76, 19.09]。这些结果表明，在责任共担条件下并不存在主要的决策者，专家和新手选择使用了平均策略进行互动决策；而在非责任共担条件下，专家和新手都更偏向于坚持自己的决策。

3.4　脑间同步

对互动决策引发的脑间同步进行单样本 t 检验。发现在责任共担条件下，前额叶通道 3、5、9、10、11、13、14，显示出显著的脑间同步，$ts \geq 2.55$, $ps \leq 0.016$ (FDR $ps < 0.05$), Cohen's $ds \geq 0.44$；颞顶联合区通道 17 显示出显著的脑间同步，t (32) = 3.43, p = 0.002 (FDR $p < 0.05$), Cohen's d = 0.60。而在非责任共担条件下，仅前额叶通道 14 显示出显著的同步，t (32) = 4.29, p < 0.001 (FDR $p < 0.05$), Cohen's d = 0.75，图 3A。

以上述通道作为感兴趣通道，对脑间同步进行责任共担和非责任共担的配对样本 t 检验。结果发现，通道 5 的脑间同步呈现出显著的条件间效应，t (32) = 2.07, p = 0. 047 (FDR 未矫正), Cohen's d = 0.36, 95% CI = [0.0003, 0.0379]，体现为责任共担条件下的脑间同步显著高于非责任共担条件下的脑间同步。这一通道位于左侧额极区域(Frontopolar area，图 3B)。

3.5　脑间同步与行为表现的关联

采用皮尔逊相关分析考察上述发现的脑间同步(通道 5)与个体进步值的关系，此过程中责任共担条件下一名专家、非责任共担条件下一名专家和两名新手的进步值因超过 3 个标准差而被排除。结果发现，在责任共担条件下，脑间同步与新手进步值呈显著正相关(r = 0.37, p = 0.036；图 3B)，与专家进步值相关不显著(r = −0.12, p = 0.517)。在非责任共担条件下，脑间同步与新手进步值相关不显著(r = 0.02, p = 0.93，图 3B)，与专家进步值相关不显著(r = −0.14, p = 0.431)。此外，采用皮尔逊相关分析考察脑间同步(通道 5)与被试对初始能力差的关系，此过程中一个被试对的初始能力差异数据因超过 3 个标准差而被排除。结果显示，责任共担条件下的脑间同步(通道 5)与被试对的初始能力差异呈显著正相关(r = 0.37, p = 0.038；图 3B)，而非责任共担下的脑间同步与被试对的初始能力差异相关不显著(r = 0.02, p = 0.936；图 3B)。

3.6　脑间同步的方向性

采用方差分析考察责任共担与否和方向性对格兰杰因果值的影响。结果表明，责任共担与否的主效应不显著，F (1, 32) = 0.18, p = 0.67, partial η^2 = 0.01，方向的主效应不显著，F (1, 32) = 0.27, p = 0.61, partial η^2 = 0.01，方向与责任共担与否的交互作用不显著，F (1, 32) = 0.10, p = 0.75, partial η^2 =

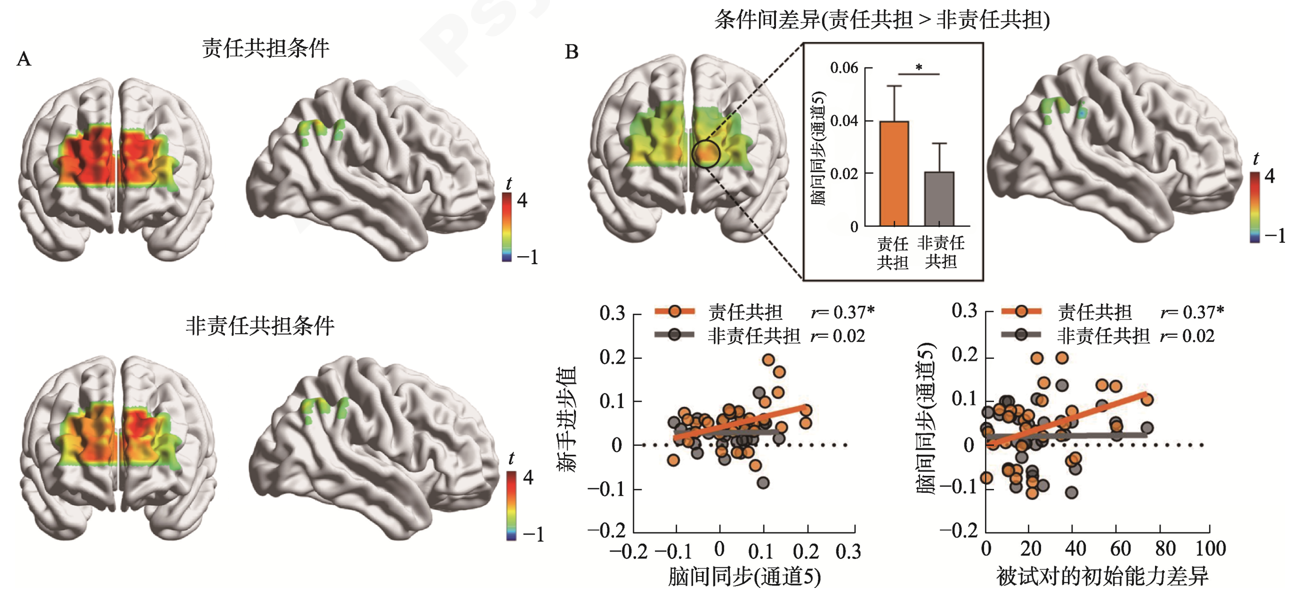


图 3　脑间同步结果。(A)责任共担和非责任共担条件下的脑间同步 t 值分布图。责任共担条件下，前额叶大部分通道出现显著的脑间同步；非责任共担条件下，前额叶仅通道 14 显著出脑间同步。(B)脑间同步的条件间差异 t 值图。其中，通道 5 表现出显著的条件间差异，体现为责任共担条件下的脑间同步显著大于非责任共担条件。责任共担条件下，通道 5 的脑间同步与新手进步值呈显著正相关，与被试对初始能力差异呈显著正相关。注：* $p < 0.05$。误差线为标准误。

0.003。这表明，责任共担与否和两个方向并未存在明显差异。对于非责任共担条件，进一步考察责任类型与方向性对格兰杰因果值的影响，结果显示，责任类型的主效应不显著，$F(1, 32) = 1.67$, $p = 0.21$, partial $\eta^2 = 0.05$。方向性的主效应不显著，$F(1, 32) = 0.26$, $p = 0.62$, partial $\eta^2 = 0.01$，但二者的交互作用显著，$F(1, 32) = 4.96$, $p = 0.033$, partial $\eta^2 = 0.13$。进一步的分析表明，专家 → 新手这一方向的因果值在新手责任时显著高于专家责任时，$t(32) = 2.38$, $p = 0.023$, Cohen's $d = 0.41$。

4 讨论

本研究将实时互动的社会决策任务与基于近红外脑成像的超扫描技术相结合，探究责任共担对专家和新手互动决策获益的影响及其脑机制。结果发现，在互动决策过程中，新手比专家获得更大的能力提升，即获益更高。同时，在责任共担条件下，新手的互动获益更高，此条件下被试对更倾向于使用平均策略。脑活动层面，两名被试在进行互动决策时前额叶和右侧颞顶联合区表现出显著的脑间同步，且责任共担条件下额极区域的脑间同步显著高于非责任共担条件下。责任共担下的额极区域增强的脑间同步可以预测新手的互动获益。此外，脑间同步和新手的互动获益均与被试对的初始能力差异存在关联，体现为被试对的初始能力差异越大，脑间同步越高，新手获益程度越高。这些结果表明，责任共担可以有效促进新手的互动获益，平均策略的使用和脑间同步的增强可能是潜在的认知和脑机制；同时，个体间的初始能力差异程度可调节上述效应。

行为结果显示，经历互动决策后，新手而非专家的能力水平获得提升，这与以往相关研究相一致(Mastroeni et al., 2017; Sella et al., 2018)。更重要的是，相比于非责任共担条件下，新手在责任共担下的互动获益更高，即责任共担利于促进新手互动获益的有效性。相关数据分析发现，在责任共担条件中，双方的退让值不存在差异。而非责任共担条件下，存在明显的主要的决策者，即对互动决策结果负责的个人。当责任人为专家时，新手的退让值高；当责任人为新手时，专家的退让值高。我们还进一步分析了不同条件下互动决策结果更靠近专家或新手个人决策结果的比例，结果发现责任共担下，互动决策结果靠近专家和靠近新手的比例为46.8% : 48.1%。在非责任共担条件下，当负责人为专家时，互动决策结果靠近专家和靠近新手的比例为 76.4% : 19.0%; 当负责人为新手时，互动决策结果靠近专家和靠近新手的比例为 24.3% : 71.4%。这些发现表明了，责任共担可以促进平均策略的使用，充分的互动亦促使新手投入了更多的心理资源(Astin, 1999)，认真参考专家的个人决策结果，在决策中多次对专家和自己的决策进行整合和平均(Sella et al., 2018)，在此过程中通过趋近专家的决策(Farrell, 2011; Mastroeni et al., 2017; Rauhut et al., 2011)，能力得到了提高。非责任共担则会导致观点意见的交流互动减少，造成个体的互动获益减少。当责任人为专家时，这种获益的减少尤为突出(互动获益：责任共担时为 25.18，非责任共担且负责人为新手时为 17.19，非责任共担且负责人为专家时为 11.29)。这可能是由于此条件降低了新手的心理资源投入，新手没有认真参考专家的个人决策结果，因而互动中的获益减少。

双人近红外脑成像结果显示，互动决策过程引发了个体前额叶(包括额极和背外侧前额叶等)和颞顶联合区域的脑间同步，这一结果与合作互动假说相一致(Lu & Hao, 2019)。脑间同步的增加通常与个体间的互动有关，它可以作为不同互动(如感知运动、信息沟通和思维决策层面的互动)的神经标记(李先春 等, 2018)。进一步地，责任共担条件下的左侧额极区域(通道 5)的脑间同步相较于非责任共担下的显著增强，并且这一脑间同步与新手的互动获益存在显著正相关。左侧额极区域通常与较为高级的认知过程有关，例如计划(Okuda et al., 1998)、元认知(Miyamoto et al., 2018)、问题解决(Green et al., 2010)，以及工作记忆(Christoff & Gabrieli, 2000)和注意力(Daffner et al., 2000)。因此，责任共担条件下更强的脑间同步可能反映了更有效的互动。在此条件下，频繁互动促使专家和新手都会投入同等多的心理资源，监视自己的个人决策结果和双方决策结果的整合。格兰杰因果分析的结果亦佐证了这一点，即在责任共担下并未形成明显的主导者–跟随者模式。整合的过程涉及注意的投入，利用工作记忆和元认知持续追踪和调整个人和集体的决策结果。而在非责任共担条件下，无论负责人是新手还是专家，个体间并无明确的统一的目标，可能并不重视集体决策结果的整合，因而有效互动减少，脑间同步降低。值得注意的是，格兰杰因果分析提示，当新手负责时，专家会更加刻意引导新手。而新手则并未表现出条件间差异。这可能体现了在非

责任共担时，新手的行动界限较为明晰，而专家则会试图用自己的专长水平影响新手。另外，虽然在责任共担下在背外侧前额叶(通道 9、10、11、13、14)及右侧颞顶联合(通道 17)发现的脑间同步的通道数多于非责任共担条件(仅通道 14)，但是条件间比较发现这些通道的脑间同步并不存在显著差异。背外侧前额叶和右侧颞顶联合区域多与心理理论相关(Fehr & Camerer, 2007; van Overwalle, 2009)，在不同的互动合作任务中均发现了互动个体在这两个区域的脑间同步(Lu et al., 2019; Sun et al., 2020; Tang et al., 2016)。在本研究中，无论责任共担与否，互动决策环节都是不存在利益冲突的合作状态，个体都需要推测对方使用的决策策略，并且达成决策共识，因此尽管责任状态不同，在背外侧前额叶和颞顶联合区域上的脑间同步并未表现出差异。

研究发现，新手的互动获益和互动决策的脑间同步均与被试对的初始能力差异紧密相关。特别地，在责任共担条件下，被试对的初始能力差异越大，个体的脑间同步越强，新手的互动获益越大。先前关于互动的集体获益(互动决策结果相对于个人决策结果的提升)的研究表明，当群体的能力差异越小时，集体获益越大(Ganesh et al., 2014; Sella et al., 2018; Wahn et al., 2017)，即当群体能力差异越大时，互动的集体获益会变小。这种团体能力差异对互动的个人获益和集体获益影响的不同，凸显了出于不同目的的互动决策，可能需要考虑在组成决策团体时成员能力水平的差异。团体初始能力的差异增加了他们在联合决策环节的互动需求，能力差异越大，则需要更多的互动才能达成一致的决策，因此脑间同步性更高。更多的互动机会使得新手有更多的机会整合专家的个人决策结果，因此互动获益也越大。

本研究采用超扫描技术，从互动的视角下探究责任共担如何影响新手互动获益及其脑际的神经机制，获得了一些有价值的结果，但是研究仍然存在一些局限。首先，本研究中仅探讨了责任共担与否对个体互动获益的影响。在责任共担条件下，个体间的责任分配比例可能会影响互动机制，可以进一步地增设相关的条件进行研究。其次，本研究对个体的互动获益进行时间进程的分析，发现互动获益更多地发生在互动的早期，且这是一种相对广泛存在的趋势。这可能是因为在一开始时个体的卷入度更高。但由于本研究中的试次数并不充足，无法严谨地考察回合数对获益的影响，未来研究可以关注这一问题。此外，非责任共担条件中安排了专家责任和新手责任的试次，尽管这两类试次均属于非责任共担的情形，但在这两类试次中专家和新手的退让值表现发生了反转(图 2C)，提示了其内在可能存在不同的机制。本研究尝试比较了两类试次的个体进步值和脑间同步的表现，结果并未发现两类试次的明显区别($ps > 0.05$)。由于在实验中这两类试次(各 12 个)为随机呈现，并未严格控制顺序平衡，而研究发现互动获益可能存在时间进程的效应，目前的设计探讨这两类试次的差异可能存在偏颇。未来的研究可以优化设计对两类责任情形进行区分，以便更好地理解非责任共担下的各类互动效应。最后，本研究中专家和新手的划分是相对的，在补充分析时发现互动获益可能受个体的绝对能力水平的影响，可进一步探讨个体的绝对能力水平与同伴的相对能力水平如何共同影响个体的互动获益。

5　结论

本研究利用超扫描技术探讨了社会决策中责任共担对个体的互动决策获益的影响和脑机制。本研究发现，责任共担可以有效促进新手的互动决策获益，平均策略的使用和前额叶脑间同步的增强可能是潜在的认知和脑机制；同时，个体间的初始能力差异程度可调节上述效应。

参　考　文　献

Amodio, D. M., & Frith, C. D. (2006). Meeting of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nature Reviews Neuroscience, 7*(4), 268–277.

Arridge, S. R., Cope, M., & Delpy, D. T. (1992). The theoretical basis for the determination of optical pathlengths in tissue: Temporal and frequency analysis. *Physics in Medicine Biology, 37*(7), 1531–1560.

Astin, A. W. (1999). Student involvement: A developmental theory for higher education. *Journal of College Student Development, 40*(5), 518–529.

Bahrami, B., Olsen, K., Latham, P. E., Roepstorff, A., Rees, G., & Frith, C. D. (2010). Optimally interacting minds. *Science, 329*(5995), 1081–1085.

Balardin, J. B., Zimeo, M., Furucho, R. A., Trambaiolli, L., Vanzella, P., Biazoli, C., & Sato, J. R. (2017). Imaging brain function with functional near infrared spectroscopy in unconstrained environments. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, 258.

Balconi, M., & Fronda, G. (2020). The "gift effect" on functional brain connectivity. Inter-brain synchronization when prosocial behavior is in action. *Scientific Reports, 10*(1), 5394–5394.

Barnett, L., & Seth, A. K. (2014). The MVGC multivariate granger causality toolbox: A new approach to granger-causal inference. *Journal of Neuroscience Methods, 223*, 50–68.

Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B: Methodological, 57*(1), 289-300.

Bevilacqua, D., Davidesco, I., Wan, L., Chaloner, K., J Rowland, & Ding, M., & Dikker, S. (2019). Brain-to-brain synchrony and learning outcomes vary by student-teacher dynamics: Evidence from a real-world classroom electroencephalography study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 31*(3), 401–411.

Christoff, K., & Gabrieli, J. (2000). The frontopolar cortex and human cognition: Evidence for a rostrocaudal hierarchical organization within the human prefrontal cortex. *Psychobiology, 28*(2), 168–186.

Cui, X., Bray, S., & Reiss, A. L. (2010). Functional near infrared spectroscopy (NIRS) signal improvement based on negative correlation between oxygenated and deoxygenated hemoglobin dynamics. *NeuroImage, 49*(4), 3039–3046.

Cui, X., Bryant, D. M., & Reiss, A. L. (2012). NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. *NeuroImage, 59*(3), 2430–2437.

Daffner, K. R., Mesulam, M. M., Scinto, L., Acar, D., Calvo, V., Faust, R., ... Holcomb, P. (2000). The central role of the prefrontal cortex in directing attention to novel events. *Brain, 123*(5), 927–939.

Delpy, D. T., Cope, M., van der Zee, P., Arridge, S., Wray, S., & Wyatt, J. (1988). Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement. *Physics in Medicine Biology, 33*(12), 1433.

Fehr, E., & Camerer, C. F. (2007). Social neuroeconomics: The neural circuitry of social preferences. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(10), 419–427.

Fishburn, F. A., Murty, V. P., Hlutkowsky, C. O., MacGillivray, C. E., Bemis, L. M., Murphy, M. E., … Perlman, S. B. (2018). Putting our heads together: Interpersonal neural synchronization as a biological mechanism for shared intentionality. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 13*(8), 841–849.

Ganesh, G., Takagi, A., Osu, R., Yoshioka, T., Kawato, M., & Burdet, E. (2014). Two is better than one: Physical interactions improve motor performance in humans. *Scientific Reports*, *4*, 3824.

Green, A., Kraemer, D. J. M., Fugelsang, J. A., Gray, J. R., & Dunbar, K. N. (2010). Connecting long distance: Semantic distance in analogical reasoning modulates frontopolar cortex activity. *Cerebral Cortex, 20*(1), 70–76.

Hiraoka, M., Firbank, M., Essenpreis, M., Cope, M., Arridge, S. R., van der Zee, P., & Delpy, D. T. (1993). A Monte Carlo investigation of optical pathlength in inhomogeneous tissue and its application to near-infrared spectroscopy. *Physics in Medicine Biology, 38*(12), 1859–1876.

Hoshi, Y. (2003). Functional near-infrared optical imaging: Utility and limitations in human brain mapping. *Psychophysiology, 40*(4), 511–520.

Hu, Y., Hu, Y., Li, X., Pan, Y., & Cheng, X. (2017). Brain-to-brain synchronization across two persons predicts mutual prosociality. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 12*(12), 1835–1844.

Hu, Y., Pan, Y., Shi, X., Cai, Q., Li, X., & Cheng, X. (2018). Inter-brain synchrony and cooperation context in interactive decision making. *Biological Psychology, 133*, 54–62.

Jahng, J., Kralik, J. D., Hwang, D. U., & Jeong, J. (2017). Neural dynamics of two players when using nonverbal cues to gauge intentions to cooperate during the Prisoner's Dilemma Game. *Neuroimage, 157,* 263–274.

Jiang, J., Dai, B., Peng, D., Zhu, C., Liu, L., & Lu, C. (2012). Neural synchronization during face-to-face communication. *Journal of Neuroscience, 32*(45), 16064–16069.

Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (2005). New developments in social interdependence theory. *Genetic, Social, and General Psychology Monographs, 131*(4), 285–358.

Li, X., Bei, L., Yuan, D., Ding, Y., & Feng, D. (2018). The brain-to-brain correlates of social interaction in the perspective of hyperscanning approach. *Journal of Psychological Science, 41*(6), 206–213.

[李先春, 卑力添, 袁涤, 丁雅娜, 冯丹阳. (2018). 超扫描视角下的社会互动脑机制. *心理科学, 41*(6), 206–213.]

Liu, W., Branigan, H. P., Zheng, L., Long, Y., Bai, X., Li, K., ... Lu, C. (2019). Shared neural representations of syntax during online dyadic communication. *Neuroimage, 198*, 63–72.

Lorenz, J., Rauhut, H., Schweitzer, F., & Helbing, D. (2011). How social influence can undermine the wisdom of crowd effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108*(22), 9020–9025.

Lu, K., & Hao, N. (2019). When do we fall in neural synchrony with others? *Social Cognitive Affective Neuroscience, 14*(3), 253–261.

Lu, K., Qiao, X., & Hao, N. (2019). Praising or keeping silent on partner's ideas: Leading brainstorming in particular ways. *Neuropsychologia, 124*, 19–30.

Mahmoodi, A., Bang, D., Olsen, K., Zhao, Y. A., Shi, Z., Broberg, K., ... Bahrami, B. (2015). Equality bias impairs collective decision-making across cultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(12), 3835–3840.

Mastroeni, L., Vellucci, P., & Naldi, M. (2017). Individual competence evolution under equality bias. In *2017 European Modelling Symposium (EMS)* (pp.123−128). doi: 110.1109/EMS.2017.1131.

Miller, J. G., Vrticka, P., Cui, X., Shrestha, S., Hosseini, S. M. H., Baker, J. M., & Reiss, A. L. (2019). Inter-brain synchrony in mother-child dyads during cooperation: An fNIRS hyperscanning study. *Neuropsychologia, 124*, 117–124.

Minson, J. A., Liberman, V., & Ross, L. (2011). Two to tango: Effects of collaboration and disagreement on dyadic judgment. *Personality & Social Psychology Bulletin, 37*(10), 1325–1338.

Miyamoto, K., Setsuie, R., Osada, T., & Miyashita, Y. (2018). Reversible silencing of the frontopolar cortex selectively impairs metacognitive judgment on non-experience in primates. *Neuron, 97*(4), 980–989.

Montague, P. R., Berns, G. S., Cohen, J. D., Mcclure, S. M., Pagnoni, G., Dhamala, M., ... Fisher, R. E. (2002). Hyperscanning: Simultaneous fMRI during linked social interactions. *Neuroimage, 16*(4), 1159–1164.

Nguyen, T., Schleihauf, H., Kayhan, E., Matthes, D., Vrticka, P., & Hoehl, S. (2020). The effects of interaction quality on neural synchrony during mother-child problem solving. *Cortex, 124*, 235–249.

Nozawa, T., Sakaki, K., Ikeda, S., Jeong, H., Yamazaki, S., Kawata, K., ... Kawashima, R. (2019). Prior physical synchrony enhances rapport and inter-brain synchronization during subsequent educational communication. *Scientific Reports, 9*(1), 12747.

Okuda, J., Fujii, T., Yamadori, A., Kawashima, R., Tsukiura, T., Fukatsu, R., ... Fukuda, H. (1998). Participation of the prefrontal cortices in prospective memory: Evidence from a PET study in humans. *Neuroscience Letters, 253*(2), 127–

130.
Pan, Y., Dikker, S., Goldstein, P., Zhu, Y., Yang, C., & Hu, Y. (2020). Instructor-learner brain coupling discriminates between instructional approaches and predicts learning. *NeuroImage, 211*, 116657.
Pan, Y., Novembre, G., Song, B., Li, X., & Hu, Y. (2018). Interpersonal synchronization of inferior frontal cortices tracks social interactive learning of a song. *Neuroimage, 183*, 280–290.
Piazza, E., Hasenfratz, L., Hasson, U., & Lew-Williams, C. (2020). Infant and adult brains are coupled to the dynamics of natural communication. *Psychological Science, 31*(1), 6–17.
Reindl, V., Gerlo□, C., Scharke, W., Konrad, K. (2018). Brain-to-brain synchrony in parent-child dyads and the relationship with emotion regulation revealed by fNIRS-based hyperscanning. *Neuroimage, 178*, 493–502.
Sella, F., Blakey, R., Bang, D., Bahrami, B., & Kadosh, R. C. (2018). Who gains more: Experts or novices? The benefits of interaction under numerical uncertainty. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception Performance, 44*(8), 1228–1239.
Sella, F., Sader, E., Lolliot, S., & Kadosh, R. C. (2016). Basic and advanced numerical performances relate to mathematical expertise but are fully mediated by visuospatial skills. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory Cognition, 42*(9), 1458–1472.
Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science, 14*(3), 237–243.
Soll, J. B., & Mannes, A. E. (2011). Judgmental aggregation strategies depend on whether the self is involved. *International Journal of Forecasting, 27*(1), 81–102.
Sun, B., Xiao, W., Feng, X., Shao, Y., Zhang, W., & Li, W. (2020). Behavioral and brain synchronization differences between expert and novice teachers when collaborating with students. *Brain and Cognition, 139,* 105513.
Sun, J., Chen, Q., Zhang, Q., Li, Y., Li, H., Wei, D., Yang, W., & Qiu, J. (2016). Training your brain to be more creative: Brain functional and structural changes induced by divergent thinking training. *Human Brain Mapping*, *37*(10), 3375–3387.
Tang, H., Mai, X., Wang, S., Zhu, C., Krueger, F., & Liu, C. (2016). Interpersonal brain synchronization in the right temporo-parietal junction during face-to-face economic exchange. *Social Cognitive Affective Neuroscience, 11*(1), 23–32.
Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society, 79*(1), 61–78.
van Overwalle, F. (2009). Social cognition and the brain: A meta-analysis. *Human Brain Mapping, 30*(3), 829–858.
Wahn, B., Kingstone, A., & König, P. (2017). Two trackers are better than one: Information about the co-actor's actions and performance scores contribute to the collective benefit in a joint visuospatial task. *Frontiers in Psychology, 8*, 669.
Xue, H., Lu, K., & Hao, N. (2018). Cooperation makes two less-creative individuals turn into a highly-creative pair. *Neuroimage, 172*, 527–537.
Yang, J., Zhang, H., Ni, J., de Dreu, C. K. W., & Ma, Y. (2020). Within-group synchronization in the prefrontal cortex associates with intergroup conflict. *Nature Neuroscience, 23*(6), 754–760.
Yaniv, I., & Kleinberger, E. (2000). Advice taking in decision making: Egocentric discounting and reputation formation. *Organizational Behavior Human Decision Processes, 83*(2), 260–281.
Yu, L., Bao, J., Chen, Q., & Wang, D. (2016). The effect of individual confidence on dyadic decision making. *Acta Psychologica Sinica, 48*(8), 1013–1025.
[余柳涛, 鲍建樟, 陈清华, 王大辉. (2016). 个体自信度对双人决策的影响. *心理学报, 48*(8), 1013–1025.]
Zein, M. E., Bahrami, B., & Hertwig, R. (2019). Shared responsibility in collective decisions. *Nature Human Behaviour, 3*(6), 554–559.
Zhang, M., Liu, T., Pelowski, M., Jia, H., & Yu, D. (2017). Social risky decision-making reveals gender differences in the TPJ: A hyperscanning study using functional near-infrared spectroscopy. *Brain and Cognition, 119*, 54–63.
Zhu, Y., Leong, V., Hou, Y., Zhang, D., Pan, Y., & Hu, Y. (2021). Instructor-learner neural synchronization during elaborated feedback predicts learning transfer. *Journal of Educational Psychology.* Advance Online Publication. DOI: 10.1037/edu0000707

Shared responsibility promotes the benefit of interactive decision-making in novices: A hyperscanning study

CHENG Xiaojun[1], LIU Meihuan[1], PAN Yafeng[2]

([1] *School of Psychology, Shenzhen University, Shenzhen* 518060, *China*)

([2] *Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou* 310028, *China*)

Abstract

Social interaction is ubiquitous. It is widely accepted that social interaction, such as social decision-making, can promote individual's ability and performance (the so-called "interaction benefit"). For example, it was reported that individuals gained more when making a joint decision with conspecifics. Little is known, however, whether and how this interaction benefit during decision making can be biased by shared responsibility (i.e., sharing the results of joint decision-making) between the interacting agents.

To address this question, the present study used the dot location estimation task (i.e., an adapted paradigm

for social decision-making) and functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) hyperscanning (i.e., the measurement of two or more brains simultaneously) technique to investigate the impact of shared responsibility on social decision making. A total number of 70 participants were recruited, forming 35 same-gender dyads. Each dyad included one "expert" and one "novice" (differentiated based on their performance during an initial estimation of dot locations). The fNIRS optodes were placed over prefrontal and right temporo-parietal regions, with 23 channels for each participant.

Our results showed that, on the behavioral level, only the novice in a dyad benefited from interaction; also, compared to the non-shared-responsibility condition, novices obtained a higher level of interaction benefit in the shared-responsibility condition. The dyad tended to adopt a "equality strategy" (i.e., decision-making is based on both one's own thought and the partner's suggestion) when sharing responsibility. On the brain imaging level, interpersonal brain synchronization (IBS) within expert-novice dyads in the prefrontal and right temporo-parietal regions were detected during social decision-making. More importantly, novices showed stronger IBS in the frontal pole for the shared-responsibility condition (vs. non-shared-responsibility condition). The enhancement of frontal pole IBS positively predicted interaction benefit during social decision-making. Finally, both interaction benefit and frontal pole IBS were selectively correlated with differential performance between novices and experts during the initial estimation of dot locations.

These results suggest that sharing the results of joint decision-making can promote the benefit of interactive decision-making in novices. Interpersonal synchronization of frontal poles might serve as a potential brain mechanism. These findings have implications for decision-making, social-cognitive processes, and clinical practice.

Keywords interaction benefit, shared responsibility, social decision-making, hyperscanning, fNIRS